



## สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

ในการวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อต้องการทราบถึง ความสัมพันธ์ของเอนไซม์ เซลลูเลส, แอลฟา อะมิเลส, เพคตินเมทิลเอสเตอเรสกับการอ่อนตัวของเปลือกกล้วยหอมทองและการผลิตเอทิลีน ในระหว่างการสุกของผลกล้วยบ่ม ซึ่งการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อเปลือกกล้วยหอมทอง โดยเฉพาะบริเวณที่อยู่ติดกับก้านผลนั้นน่าจะเป็นต้นเหตุของการหลุดจากก้านผลกล้วยหอมทอง ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญของการเก็บรักษาและควบคุมการสุกของผลกล้วยภายหลังการเก็บเกี่ยว โดยที่ การทดลองครั้งนี้ ได้แบ่งลำดับขั้นตอนในการวิจัยเป็น 3 ขั้นตอน คือ (1) การศึกษาถึงความสัมพันธ์ของการกระตุ้นการสุกด้วยเอทิลีนจากภายนอกต่อปริมาณการผลิตเอทิลีน กับความแน่นเปลือกของกล้วยหอมทองทั้งผล (2) การศึกษาเพื่อคัดเลือกสารต่างๆที่มีผลกระทบต่อการศึกษา การเปลี่ยนแปลงของการผลิตเอทิลีนและความแน่นเปลือก และ (3) การคัดเลือกจากสารที่ใช้ ในข้อ 2 ที่มีประสิทธิภาพต่อการเปลี่ยนแปลง ปริมาณการผลิตเอทิลีนและความแน่นเปลือก เพื่อนำมาใช้ทาเฉพาะบริเวณก้านผลและเปลือกที่อยู่ติดกับก้านผลแล้วทำการศึกษาถึงแอคติวิตีของ เอนไซม์ที่คาดว่าจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการอ่อนตัวของหัวผล คือ เอนไซม์เซลลูเลส แอลฟาอะมิเลส และเพคตินเมทิลเอสเตอเรส

## การกระตุ้นการสุกด้วยเอทิลีนจากภายนอก

การใช้เอทิลีนความเข้มข้น 10 ppm กระตุ้นผลกล้วยหอมทองเป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปบ่ม จะมีผลทำให้กล้วยหอมทองมีการผลิตเอทิลีนเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว ตั้งแต่วันแรกของการบ่มและจะผลิตได้สูงสุดภายในระยะเวลาประมาณ 5 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับ ผลกล้วยที่ไม่ได้รับการกระตุ้นด้วยเอทิลีน จะพบว่าในช่วง 4 วันแรกของการบ่ม การผลิตเอทิลีนจะคงอยู่ในระดับต่ำไม่สามารถวัดปริมาณได้ และการผลิตเอทิลีนจะเพิ่มสูงขึ้นจนพอ สังเกตได้เมื่อวันที่ 5 ของการบ่มเป็นต้นไป ในขณะที่กล้วยซึ่งได้รับการกระตุ้นด้วยเอทิลีนจาก

ภายนอกมีการสุกเต็มที่แล้ว แสดงให้เห็นว่า การใช้เอทิลีนจากภายนอกจะมีผลต่อการกระตุ้นการผลิตเอทิลีนซึ่งปกติจะเกิดด้วยตัวมันเองในระดับต่ำให้สูงขึ้นภายในเวลาอันรวดเร็ว หลังจากที่ใช้เอทิลีนของผลกล้วยหอมทองถูกกระตุ้นให้ผลิตมากขึ้นและปลดปล่อยออกมาสู่บรรยากาศก็จะไปมีผลเหนี่ยวนำให้ปฏิกิริยา หรือกระบวนการสังเคราะห์เอทิลีนที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์เอทิลีนภายในเซลล์ให้สูงขึ้น การผลิตเอทิลีนในลักษณะนี้เรียกว่า autocatalytic ethylene producing system (18) ซึ่งจะพบเฉพาะในผลไม้พวก Climacteric ที่อยู่ในระยะแก่เท่านั้นนอกจากเอทิลีนจากภายนอกสามารถกระตุ้นการผลิตเอทิลีนภายในผลไม้ได้แล้ว สารอื่น ๆ ที่มีคุณสมบัติคล้ายเอทิลีนเช่น เอทิลีน และแคลเซียมคาร์ไบด์ จะมีผลกระตุ้นการสังเคราะห์เอทิลีนได้เช่นกัน (18) ในการวิจัยนี้การใช้วิธีบ่มกล้วยหอมด้วยการอบด้วยเอทิลีนจากภายนอก จะมีผลให้สามารถควบคุมกระบวนการสุกของกล้วยหอมทองให้เริ่มต้นในระยะเวลาที่ต้องการได้ และสามารถควบคุมระยะเวลาของการสุกได้อีกด้วย จะเห็นได้ว่าการบ่มกล้วยโดยการกระตุ้นด้วยเอทิลีนจากภายนอกนี้ จะขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มและความเข้มข้นของเอทิลีนในบรรยากาศ จากผลการวิจัยจะเห็นได้ว่า กล้วยที่ถูกกระตุ้นด้วยเอทิลีนจากภายนอกที่ความเข้มข้นเอทิลีน 10 ppm ที่อุณหภูมิ  $24 \pm 2$  องศาเซลเซียส จะทำให้กล้วยสุกได้ภายในเวลาประมาณ 5-7 วัน ตามมาตรฐานการสุกของการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือก (5)

ในการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างการผลิตเอทิลีนกับความแน่นเปลือกจะพบว่าขณะที่ปริมาณการผลิตเอทิลีนของกล้วยหอมทองอยู่ในระดับต่ำ คือในช่วงวันแรกของการบ่มความแน่นเปลือกจะมีมาก ค่าที่วัดได้จากเครื่อง load cell instrument จะให้ค่าเฉลี่ยของความแน่นของกล้วยประมาณ 90 นิวตัน และ เมื่อปริมาณเอทิลีนเพิ่มสูงขึ้น ความแน่นเปลือกจะลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว แสดงให้เห็นว่า การสังเคราะห์เอทิลีนจะมีความสัมพันธ์กับการสูญเสียความแน่นเปลือก เนื่องจากเอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่มีหน้าที่ควบคุมการสุกของผลไม้ ซึ่งการสุกเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงหลายอย่าง และ ความแน่นของเปลือกเป็นการเปลี่ยนแปลงอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นระหว่างการสุก (17) Gazit และคณะ (43) รายงานว่าในผลโวกาโดที่กระตุ้นด้วยเอทิลีน จะทำให้เกิดการสุกและความแน่นของผลลดลงอย่างรวดเร็ว จากการศึกษาของชาติชาย (24) พบว่าการใช้สารโพตัสเซียมเปอร์มันกาเนต ( $KMnO_4$ ) เป็นตัวดูดซับเอทิลีนที่ปลดปล่อยออกจากผลกล้วยไข่ ขณะเก็บในถุงพลาสติกระหว่างเก็บรักษาและขนส่ง

จะทำให้ปริมาณเอทิลีนในถุงพลาสติกลดต่ำลงจนไม่สามารถที่จะมีผลในการกระตุ้นการสังเคราะห์เอทิลีนแบบ autocatalytic ethylene producing system ได้ จึงทำให้สามารถเก็บรักษาสภาพเดียวกัน (44) ปัจจุบันในการส่งผลกล้วยไข่ไปจำหน่ายยังต่างประเทศ มีการควบคุมการสุกของผลกล้วยโดยควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำ และควบคุมอากาศและลดเอทิลีนด้วยสารละลายโปตัสเซียมเปอร์แมงกาเนต (24)

การศึกษาถึงชนิดของสารต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อปริมาณการผลิตเอทิลีน และความแน่นเปลือกกล้วยหอมทอง

### การใช้สาร $GA_3$

การใช้สารละลาย  $GA_3$  ความเข้มข้น 300, 600 และ 900 ppm ทาผลกล้วยหอมทองก่อนกระตุ้นการสุกด้วยเอทิลีนจะมีผลให้เห็นว่า  $GA_3$  ที่ความเข้มข้นสูง (600 ถึง 900 ppm) จะมีผลในการยับยั้งการเปลี่ยนสีของผลกล้วยหอมทองเมื่อเทียบกับกล้วยที่ไม่ได้ทา  $GA_3$  และความเข้มข้นของ  $GA_3$  ระหว่าง 600-900 ppm นี้จะมีผลทำให้ปริมาณการผลิตเอทิลีนในวันที่ 1-5 ของการบ่ม ช่วงที่กล้วยจะมีการเปลี่ยนสีจนเชื่อว่าสุกเต็มที่ ต่ำกว่าผลกล้วยที่ไม่ได้ทาด้วยสารละลาย  $GA_3$  และเมื่อทาด้วย  $GA_3$  เพียง 300 ppm แต่ในวันที่ 6 และ 7 ของการบ่มปริมาณการผลิตเอทิลีนจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว อาจเป็นไปได้ว่า สารละลาย  $GA_3$  ที่ความเข้มข้น 600 และ 900 ppm มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์เอทิลีนในแต่ละวันของการบ่มในช่วงแรกลดต่ำลง อย่างไรก็ตามจากการวัดความแน่นเปลือก จะพบว่าการใช้สารละลาย  $GA_3$  ความเข้มข้น 900 ppm เท่านั้นที่มีแนวโน้มของการรักษาความแน่นเปลือกสูงกว่าการใช้สารละลาย  $GA_3$  ความเข้มข้น 300, 600 ppm และไม่ใช่  $GA_3$  จากการศึกษาของ Wills และ Scott (45) ในผลแอปเปิ้ล พบว่าสารละลาย  $GA_3$  จะมีผลในการชะลอการสุกได้และการศึกษาของ Khader และคณะ (38) พบว่าการใช้  $GA_3$  กับผลมะม่วงจะช่วยยืดอายุการสุกได้ประมาณ 2-3 วัน ดังนั้นการที่แอปเปิ้ลและมะม่วงสุกช้าลงอาจเป็นผลมาจากอิทธิพลของ  $GA_3$  ซึ่งเป็นฮอร์โมนพืชชนิดหนึ่งที่มีการทำงานร่วมกับฮอร์โมนอื่น ๆ เช่น ออกซิน และ ไซโตไคนิน ซึ่งมีอยู่ในเนื้อเยื่อพืช และมีผลในการชะลอการสุก (22) ผลการทดลองใช้  $GA_3$  ทาที่บริเวณหัวผลและเปลือกกล้วยหอมในระยะห่างจากหัว 3 ซม. และติดตามการเปลี่ยนแปลงการผลิต

เอทิลีน ความแน่นเปลือกดูเหมือนขึ้นอันลึกลับของ  $GA_3$  ที่ความเข้มข้น 900 ppm จะมีฤทธิ์ในการยับยั้งการสังเคราะห์เอทิลีนได้บางส่วน อย่างไรก็ตาม  $GA_3$  ไม่มีฤทธิ์ในการเปลี่ยนแปลงระดับการผลิตน้ำตาลละลายน้ำทั้งหมดภายในเนื้อของกล้วยหอมทอง เมื่อเทียบกับกล้วยที่บ่มโดยไม่ได้ทาด้วย  $GA_3$  ในประมาณวันที่ 5 หลังจากการบ่ม ที่อุณหภูมิ  $24 \pm 2$  องศาเซลเซียส

การพิจารณาแอกติวิตีของเอนไซม์เซลล์ูลเลส ซึ่งเป็นเอนไซม์ย่อยสลายเซลล์ูลส อันเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์พืชโดยเฉพาะในเปลือกผลไม้ จะเห็นได้ว่า เมื่อกล้วยหอมทองมีการสุกมากพอที่จะทำการติดตามแอกติวิตีของเอนไซม์ในเนื้อแล้ว การติดตามการเปลี่ยนแปลงแอกติวิตีของเอนไซม์ย่อยสลายเปลือกก็สามารถทำได้โดยจะเห็นได้ว่าในช่วงการบ่มกล้วยหอมทอง 7 วัน จะมีการผลิตเอนไซม์เซลล์ูลเลสในเปลือกเพิ่มขึ้นควบคู่กับการเพิ่มการสังเคราะห์เอทิลีนแต่การสังเคราะห์เอนไซม์จะเพิ่มขึ้นไปตลอดช่วงการบ่มถึงแม้ว่าประสิทธิภาพของการสังเคราะห์เอทิลีนจะลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากบ่มไปได้ 5 วัน และเมื่อเปรียบเทียบกับความแน่นเปลือก ซึ่งการลดลงจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในลักษณะของ hyperbolic curve ดังนั้นจึงดูเหมือนว่าการเพิ่มของเซลล์ูลเลสในช่วงแรกเท่านั้นที่น่าจะมีความสัมพันธ์กับการสุกของผลกล้วยหอม การทาเปลือกกล้วยด้วย  $GA_3$  จะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงแอกติวิตีของเซลล์ูลเสนัก ยกเว้นแต่ที่  $GA_3$  สูง (900 ppm) จะมีผลต่อการลดแอกติวิตีของเซลล์ูลเลสในช่วงการบ่มกล้วยหอมนาน 7 วัน

Awad และ Young (36) รายงานว่าในการสุกของผลอโวคาโดจะตรวจพบการเพิ่มแอกติวิตีของเซลล์ูลเลสเช่นเดียวกับมีการเพิ่มแอกติวิตีของแอลฟาอะมิเลสเช่นกัน ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของ เอนไซม์แอลฟา อะมิเลสในก้านและเปลือกที่อยู่ติดกับก้านผล จะเห็นได้ว่าในระหว่างการบ่มกล้วยหอมทองนาน 7 วันจะตรวจพบแอกติวิตีของแอลฟาอะมิเลสเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ การทาเปลือกกล้วยและหัวด้วย  $GA_3$  ที่ความเข้มข้น 600-900 ppm จะมีผลในการลดแอกติวิตีของแอลฟา อะมิเลสที่วัดได้ในช่วงระยะเวลาต่างๆลงไปบ้างเล็กน้อย

มีรายงานว่า (46) เอนไซม์เพคตินเมทิลเอสเตอเรสในส้มโอพันธุ์ขาวแป้น จะเพิ่มขึ้นภายหลังการเก็บเกี่ยว ในขณะที่แอกติวิตีของเอนไซม์ชนิดนี้จะลดต่ำลงภายหลังการเก็บเกี่ยวผลอโวคาโดแล้ว (36) สำหรับผลการศึกษาในกล้วยหอมทอง จะพบว่าในระหว่างการ

บ่มกล้วยให้สุกเห็นเวลา 7 วันนั้นจะมีการเพิ่มแอกติวิตีของเพคตินเมทิลเอสเตอเรสขึ้นอย่างช้า ๆ ในระหว่างการสุก และจะมีค่าสูงสุดในขณะที่กล้วยสุกเข้าวันที่ 5 หลังจากนั้นจะคงที่โดยที่แอกติวิตีที่เพิ่มขึ้นมีประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของแอกติวิตีของผลกล้วยดิบ อย่างไรก็ตามการทาด้วย  $GA_3$  (300 ถึง 900 ppm) เกือบไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการผลิตเอนไซม์เพคตินเมทิลเอสเตอเรสเลย ไม่ว่าในกล้วยดิบหรือสุก

### การใช้สาร $CaCl_2$

ในการใช้สารละลาย  $CaCl_2$  ความเข้มข้นตั้งแต่ 10 - 90 เปอร์เซ็นต์ ทาผลกล้วยหอมทอง ก่อนกระตุ้นการสุกด้วยเอทิลีนจะมีผลทำให้ปริมาณการผลิตเอทิลีนในแต่ละวันของการบ่มลดต่ำลงโดยที่การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย  $CaCl_2$  มากขึ้นจะยิ่งทำให้ปริมาณการผลิตเอทิลีนลดต่ำลง ค่าความแน่นเปลือกในแต่ละวันของการบ่มจะอยู่ในระดับสูงโดยเฉพาะที่ความเข้มข้นของ  $CaCl_2$  90 เปอร์เซ็นต์ ค่าความแน่นเปลือกในวันที่ 7 ของการบ่มจะลดลงเพียง 35.20 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่การไม่ใช้สารละลาย  $CaCl_2$  จะลดลงถึง 92.70 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาถึงการอ่อนตัวของเนื้อเชื้อผลเชอรี่ ภายหลังการเก็บเกี่ยว Lidster และคณะ (47) พบว่าการแช่ผลเชอรี่ลงในสารละลาย  $CaCl_2$  จะสามารถยับยั้งการอ่อนตัวของเนื้อเชื้อผลได้ Conway W.S. และ Sans (48) ได้ทดลองพบว่า  $CaCl_2$  ให้ผลในการยับยั้งการอ่อนตัวของผลแอปเปิ้ลได้เช่นเดียวกัน การที่  $CaCl_2$  มีผลต่อความแน่นเปลือกอาจเป็นผลมาจากแคลเซียมไอออนเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารประกอบเพคติน กลายเป็นสารพวก แคลเซียมเพคเตต (calcium pectate) มีผลทำให้เกิดด้านทานการแยกหรือหลุดออกจากกันของเซลล์ นอกจากนี้ แคลเซียมไอออนยังทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมโยง (Ca-Cross-Linkage) ระหว่างสายของโพลีกลูคานูโรนิกแอซิดเข้าด้วยกัน ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของสารประกอบเพคตินซึ่งเป็นสารที่ทำให้โครงสร้างของผนังเซลล์ชั้น middle lamella มีการยึดเกาะกันมากขึ้น (49) อย่างไรก็ตามแม้ว่าการใช้  $CaCl_2$  จะมีผลในการรักษาความแน่นของเปลือกกล้วยในระหว่างสุกได้ แต่ผลที่เกิดจาก  $CaCl_2$  อย่างหนึ่งคือ ทำให้เกิดจุดสีน้ำตาลกระจายอยู่ที่ผิวเปลือกกล้วยหอมทองตลอดทั้งผลจุดนี้จะเด่นชัดมากขึ้นเมื่อกกล้วยเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง (ภาพที่ 20) ทำให้ผลกล้วยหอมทองสุกมีลักษณะสีผิวไม่สวยงามเหมือนเช่นกล้วยที่

สูงในสภาพปกติ การเกิดจุดสีน้ำตาลกระจายอยู่ทั่วผิวเปลือกในระหว่างการบ่มอาจเป็นผลมาจาก สารละลาย  $\text{CaCl}_2$  ที่ซึมผ่านผิวเปลือกเข้าไป เกิดการทำลายเนื้อเยื่อชั้นใต้ผิวที่มีคลอโรฟิลล์ สะสมอยู่ทำให้การเปลี่ยนจากสีเขียวไปเป็นสีเหลืองขณะสุกเกิดผิดปกติ ดังนั้นกล่าวในเชิงพาณิชย์ แล้วคุณสมบัติของ  $\text{CaCl}_2$  ดังกล่าวข้างต้น จึงทำให้สารเคมีชนิดนี้ไม่เหมาะที่จะใช้ยับยั้งการสุก หรือการหลุดจากขั้วผล ถ้าต้องการให้ผลกล้วยหอมที่ได้สามารถขนส่งหรือส่งออกได้

### การใช้ เลกไซโธอินและเมทไซโธอิน

เนื่องจากเมทไซโธอินเป็นสารเริ่มต้นในขั้นตอนการสังเคราะห์เลกซิดีน โดยผ่านตัวกลาง 2 ตัวคือ S-Adenosyl Methionine (SAM) ซึ่งเป็น active form ของเมทไซโธอิน ซึ่งเกิดขึ้นได้จากการเติม ATP ให้กับเมทไซโธอินและถูกเร่งปฏิกิริยาโดย เอนไซม์ Methionine adenosyl tranferase จากนั้น SAM จะถูกเปลี่ยนไปเป็น 1-Aminocyclopropane-1-Carboxylic acid (ACC) โดยเอนไซม์ ACC synthase และในขั้นตอนสุดท้าย ACC จะเปลี่ยนไปเป็นเลกซิดีน (20) แต่ในการทดลองนี้พบว่าการใช้ เมทไซโธอินทาผลกล้วยหอมทองก่อนการกระตุ้นด้วยเลกซิดีน 10 ppm ไม่มีผลในการเปลี่ยนแปลงของ ปริมาณการผลิตเลกซิดีนในระหว่างที่กล้วยหอมทองสุก ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะ การเพิ่ม เมทไซโธอินให้กับเนื้อเยื่อเนื้อนั้นเพียงนั้นอาจมีผลทำให้มีการสร้าง SAM เพิ่มมากขึ้นแต่เนื่องจาก SAM นั้นเป็นสารตัวกลางในการเปลี่ยนไปเป็นสารต่าง ๆ อีกมากมายเช่นการสร้างโปรตีน กรด นิวคลีอิก และเอนไซม์ต่าง ๆ ตลอดจนกระบวนการสังเคราะห์สารต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องใช้เมธิล จากปฏิกิริยา Methylation ดังนั้นปริมาณของ SAM จึงอาจมีผลน้อยต่อการเปลี่ยนไปเป็น ACC โดย ACC synthase

การทดลองใช้ สารละลายเลกไซโธอิน ทาผลกล้วยทั้งผลก่อนการกระตุ้นการสุก ด้วย เลกซิดีน 10 ppm จะให้ผลเช่นเดียวกับเมทไซโธอินคือไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณการผลิตเลกซิดีนในระหว่างที่กล้วยสุกแม้ว่าเลกไซโธอินจะเป็น S-ethyl analog ของเมทไซโธอิน ซึ่งสามารถแข่งขันกับเลกไซโธอิน ในการทำหน้าที่ต่างๆ ได้ (competitive inhibition) ซึ่งสามารถยับยั้งการเปลี่ยนจากเมทไซโธอินไปเป็น SAM ได้ก็ตาม แต่ไม่มีผลต่อการยับยั้ง ปริมาณการผลิตเลกซิดีนได้ ทั้งนี้อาจเนื่องจาก SAM นั้น เป็นสารตัวกลางที่จำเป็นต้องใช้ใน

กระบวนการต่าง ๆ อีกหลายอย่างจึงอาจมีผลน้อยต่อกระบวนการสังเคราะห์เอทิลีน นอกจากนี้ เหตุผลที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือจุดที่ควบคุมการสังเคราะห์เอทิลีนนั้นไม่ได้อยู่ที่การเปลี่ยนจาก เมทไธโอนีนไปเป็น SAM แต่อยู่ในขั้นตอนของการเปลี่ยนจาก SAM ไปเป็น ACC โดย ACC synthase ซึ่งในขณะที่มีการสังเคราะห์เอทิลีนเพิ่มขึ้นนั้น แอคติวิตีของ Methionine adenosyl tran-ferase จะคงที่ตลอดเวลา ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงแอคติวิตีของ ACC synthase จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณการสังเคราะห์เอทิลีน (22)

### การใช้พาราฟินเหลวและ Sta Fresh 7055

การใช้ พาราฟินเหลวและ Sta Fresh 7055 ซึ่งเป็นชื่อทางการค้าของ สารละลาย wax ที่ใช้ในการลดการระเหยน้ำโดยการเคลือบผิวเช่นเดียวกับพาราฟินเหลวที่ กลัวหอมทองทั้งผลหลังจากกระตุ้นการสุกด้วยเอทิลีนแล้ว จะเห็นได้ว่า ในแง่ของลักษณะ ภายนอกของการสุกมีการเปลี่ยนสี จะเห็นได้ชัดเจนว่า พาราฟินเหลวสามารถใช้ยื้ออายุการ เปลี่ยนสีผลกลัวหอมทองได้อย่างชัดเจนจะทำให้ปริมาณการผลิตเอทิลีนของผลกลัวหอมทองใน ช่วงวันที่ 1 ถึงวันที่ 5 ของการบ่มต่ำกว่า และในวันที่ 6 และ 7 ของการบ่ม ปริมาณการผลิต เอทิลีนจะสูงกว่าผลกลัวหอมทองที่ไม่ได้ทาด้วยพาราฟินเหลว นอกจากนี้พาราฟินเหลวยังมีผล ทำให้การลดลงของความแน่นเปลือกในแต่ละวันช้ากว่าการสุกในสภาพปกติ จากการทดลองนี้ แสดงให้เห็นว่าพาราฟินเหลวและ Sta Fresh 7055 สามารถยับยั้งการสูญเสียความแน่นเปลือก ได้ จึงได้ทำการทดลองใช้สารชนิดนี้ทาเฉพาะบริเวณก้านผลและเปลือกที่อยู่กับก้านผลเพื่อศึกษา ถึงความแน่นเปลือกบริเวณหัวผล จากการทดลองพบว่า ก้านผลและเปลือกที่อยู่ติดกับก้านผลมีการ ผลิตเอทิลีน ตั้งแต่วันที่ 1 - 7 ของการบ่มต่ำกว่า และความแน่นของเปลือกบริเวณหัวผลในแต่ละ วันของการบ่มมีค่าสูงกว่าก้านผลและเปลือกที่ไม่ได้ทาด้วยพาราฟินเหลว การศึกษาถึงแอคติวิตี ของเอนไซม์ เซลลูเลส แอลฟาอะมิเลสและเพคตินเมทิลเอสเตอเรส พบว่า แอคติวิตีของ เอนไซม์ทั้ง 3 ชนิด มีการเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาของการบ่ม แต่มีอัตราการเพิ่มในแต่ละวันต่ำ กว่าที่ไม่ได้ทาด้วยสารเหล่านี้ สำหรับการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลในแต่ละวันของการบ่มไม่มีความ แตกต่างกัน

จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า พาราฟินเหลวที่เคลือบอยู่ที่ ผิวเปลือก และก้านผลกลัวหอมทองนั้นมีผลทำให้ปริมาณการผลิตเอทิลีนลดต่ำลง ทั้งนี้

เนื่องจาก พาราฟินเหลวและ Sta Fresh 7055 มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ petroleum wax ซึ่งเป็นสารที่ทำหน้าที่ป้องกันการแลกเปลี่ยนแก๊ส มีผลทำให้ออกซิเจนผ่านเข้าไปในเนื้อเชื้อเพลิงได้น้อยลง ในการสังเคราะห์เอทิลีนของพืชนั้น จะเกิดขึ้นได้เมื่อปริมาณออกซิเจนสามารถเข้าไปในเนื้อเชื้อเพลิงตามปกติ ทั้งนี้เนื่องจากในปฏิกิริยาของการเปลี่ยนจาก 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) ไปเป็นเอทิลีนโดยการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ Ethylene Forming Enzyme จำเป็นต้องใช้ออกซิเจน (21) นอกจากนี้การเคลือบด้วยพาราฟินเหลวจะทำให้เกิดการสะสมแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) โดยที่  $CO_2$  จะทำหน้าที่เป็นสารยับยั้งแบบแข่งขัน (Competitive inhibitor) ของเอทิลีน ในการที่จะเข้าไปจับที่บริเวณเร่ง (active site) ของเอนไซม์ ACC-synthase ซึ่งเป็นเอนไซม์สังเคราะห์ ACC จาก S-adenosyl methionine จึงสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทั้งสองชนิด ซึ่งเกี่ยวข้องกับ การสังเคราะห์เอทิลีนโดยตรงได้(20)

สำหรับการทาพาราฟินเหลวและSta Fresh 7055 บริเวณก้านผลและเปลือกที่ติดอยู่กับก้านผลนั้นจะทำให้อัตราการเพิ่มของแอกติวิตีของเอนไซม์เซลล์ูเลส แอลฟาอะมิเลส เพคตินเมทิลเอสเตอเรสต่ำกว่ากว่าด้วยควบคุมที่ไม่มีการทาที่ทุกค่าของความเข้มข้นสารที่ใช้ อย่างไรก็ตามสำหรับเอนไซม์เพคตินเมทิลเอสเตอเรสจะมีการเพิ่มขึ้นในอัตราที่ต่ำมากไม่เด่นชัดเหมือน บการเพิ่มขึ้นของแอกติวิตีเอนไซม์เซลล์ูเลสและแอลฟาอะมิเลส ซึ่งพบว่าในขณะที่ผลกล้วยสุกแอกติวิตีของเอนไซม์ทั้งสองชนิดนี้จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อมีการผลิตเอทิลีนเพิ่มสูงขึ้น และความแน่นของเปลือกก็จะลดลงอย่างรวดเร็วเช่นกัน จากผลการทดลองดังกล่าว แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของการผลิตเอทิลีนกับการสูญเสียความแน่นเปลือก และการทำงานของเอนไซม์เซลล์ูเลสกับแอลฟาอะมิเลสอย่างชัดเจน กล่าวคือ เมื่อผลกล้วยยังดิบอยู่ การผลิตเอทิลีนน้อย ความแน่นเปลือกมีค่าสูง แอกติวิตีของเซลล์ูเลสและแอลฟาอะมิเลสอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งแสดงว่าการย่อยสลายเซลล์ูโลสและแป้งเกิดขึ้นน้อย และเมื่อกล้วยหอมทองเริ่มสุกแอกติวิตีของเอนไซม์ทั้งสองชนิดดังกล่าวจะเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากเอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่มีคุณสมบัติควบคุมการสุก ดังนั้น การที่พาราฟินเหลวและ Sta Fresh 7055 มีผลต่อการยับยั้งการผลิตเอทิลีน จึงทำให้เกิดการยับยั้งการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการสุกรวมทั้ง แอกติวิตีของเอนไซม์เซลล์ูเลส และแอลฟาอะมิเลส ซึ่งการทำงานของเอนไซม์ทั้งสองชนิดนี้จะมีผลโดยตรงต่อการสูญเสียความแน่นเปลือกด้วยหอมทองสำหรับเพคตินเมทิลเอสเตอเรสนั้นพบว่ามีการเพิ่มขึ้น



ในอัตราที่ต่ำมากในขณะที่ผลกล้วยสุก ซึ่งจะเกิดปรากฏการณ์สูญเสียความแน่นเปลือกอย่างรวดเร็ว ดังนั้นอาจเป็นไปได้ว่าเอนไซม์ชนิดนี้มีผลน้อยต่อการสูญเสียความแน่นเปลือกกล้วยหอมทอง

เนื่องจากการใช้ Sta Fresh 7055 ผสมน้ำอัตราส่วน 1:3 ให้ผลในการยับยั้งการผลิตเอทิลีนของผลกล้วยและการสูญเสียความแน่นเปลือกได้ดีที่สุด จึงได้ทำการแปรผันอัตราส่วนใหม่เป็น 1:3, 1:2 และ 1:1 โดยใช้ทำก้านผลและเปลือกที่อยู่ติดกับก้านผลเพื่อศึกษาการยับยั้งการสูญเสียความแน่นเปลือกบริเวณหัวผล ซึ่งบริเวณนี้เป็นตำแหน่งที่ทำให้เกิดการหลุดของผลกล้วยหอมทอง จากการทดลองครั้งนี้ทำให้ทราบว่า Sta Fresh 7055 อัตราส่วน 1:1 สามารถยับยั้งการผลิตเอทิลีนดีกว่าอัตราส่วนอื่น ๆ แต่ให้ค่าความแน่นเปลือกในวันที่ 5 และ 7 ของการบ่ม ต่ำกว่าที่อัตราส่วน 1:3 และ 1:2 ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติของ Sta Fresh 7055 นั้นเมื่อเคลือบที่ผิวของพืชแล้ว สามารถที่จะลดอัตราการแลกเปลี่ยนแก๊สได้ เช่นเดียวกับ Liquid paraffin เพราะมีส่วนประกอบที่เหมือนกันคือ Petroleum wax ดังนั้นกลไกการควบคุมการสังเคราะห์เอทิลีนและผลที่เกิดขึ้นภายหลังการควบคุมการสังเคราะห์เอทิลีน จึงคล้ายกับการใช้พาราฟินเหลว เป็นที่น่าสังเกตประการหนึ่งว่าการใช้ Sta Fresh 7055 : น้ำ ในอัตราส่วน 1:1 จะมีผลทำให้เกิดลักษณะสีน้ำตาลกระจายอยู่เกือบทั่วบริเวณที่ทาด้วย Sta Fresh 7055 ลักษณะสีน้ำตาลที่ปรากฏขึ้น อาจเป็นผลมาจากการใช้ Sta Fresh 7055 ที่ความเข้มข้นสูงเกินไป ทำให้การแลกเปลี่ยนแก๊สเกิดขึ้นน้อยมาก การสะสม  $CO_2$  ในเนื้อเยื่อจากกระบวนการหายใจ Pantastico (50) ได้รายงานว่าลักษณะที่เกิดจาก  $CO_2$  injury ของกล้วยจะมีผลทำให้การพัฒนาของสีผิวเปลือกไม่เป็นไปตามปกติ โดยสังเกตสีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลปรากฏขึ้น โดยจะเกิดขึ้นในเซลล์ชั้นอีพิเดर्मิส (รูปที่ 43) นอกจากนี้ยังอาจทำให้เกิดกลิ่นไม่ปกติ ดังนั้นการใช้ Sta Fresh 7055 : น้ำ อัตราส่วน 1:1 จึงไม่เหมาะสม และจากการทดลองครั้งนี้ พบว่าการใช้อัตราส่วน 1:3 และ 1:2 สามารถยับยั้งการสูญเสียความแน่นเปลือกทำให้หัวผลเหนียวไม่เละ และยับยั้งการหลุดการก้านผลของกล้วยหอมทองในวันที่ 6 และ 7 ของการบ่มได้ และไม่ทำให้เกิดอาการสีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลที่ผิวเปลือก

#### การใช้สาร AVG

การใช้สารละลาย AVG ความเข้มข้น 200 และ 500 ppm ทาก้านผลและเปลือกที่ติดอยู่กับก้านผล เพื่อยับยั้งการสูญเสียความแน่นของเปลือกบริเวณหัวผล พบว่าการ

ใช้สาร AVG จะมีผลในการยับยั้งการสูญเสียความแน่นเปลือก และการผลิตเอทิลีนตรงส่วนของก้านผลและเปลือกที่ติดอยู่กับก้านผล โดยที่ระดับ 500 ppm จะมีผลในการยับยั้งการสูญเสียความแน่นและการผลิตเอทิลีนได้ดีกว่าที่ระดับ 200 ppm และจากการศึกษาแอกติวิตีของเอนไซม์ เซลลูเลส และแอลฟาอะมีเลส จะพบว่า AVG มีต่อเอนไซม์ทั้งเซลลูเลสและแอลฟาอะมีเลส คือ ทำให้แอกติวิตีลดลง สำหรับเอนไซม์เพคตินเมทิลเอสเตอเรสนั้น พบว่า AVG มีผลทำให้เอนไซม์ชนิดนี้มีแอกติวิตีเพิ่มสูงขึ้นโดยที่ AVG 500 ppm จะมีผลทำให้แอกติวิตีของเอนไซม์เพคตินเมทิลเอสเตอเรสสูงกว่าที่ 200 ppm และจากการวัดปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำทั้งหมดของเนื้อกล้วยบริเวณหัวผลพบว่า การใช้ AVG ไม่มีผลทำให้ปริมาณน้ำตาลแตกต่างจากการไม่ใช้ AVG

จากผลการทดลองดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า AVG เป็นสารที่มีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์เอทิลีนของพืชโดยไปทำหน้าที่ยับยั้งการเปลี่ยนจาก S-Adenosyl Methionine (SAM) ไปเป็น 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid ซึ่งเป็นสารตัวกลางในการเปลี่ยนจากเมทไธโอนีน ไปเป็น เอทิลีน (22) นอกจากนี้ Adam และ Yang (20) ยังได้ทดลองใช้ AVG กับเนื้อเยื่อของผลแอปเปิ้ลพบว่าสารชนิดนี้สามารถยับยั้งการสังเคราะห์เอทิลีนได้เช่นเดียวกันจะเห็นได้ว่าเมื่อการสังเคราะห์เอทิลีนถูกยับยั้งลง การสูญเสียความแน่นเปลือกจะลดต่ำลงด้วยตามวิถีการสังเคราะห์เอทิลีน (หน้า )

การที่แอกติวิตีของเอนไซม์ เซลลูเลสและแอลฟาอะมีเลสลดต่ำลง เมื่อทาเปลือกกล้วยด้วย AVG ด้วยนั้น น่าจะแสดงให้เห็นว่า แอกติวิตีของเอนไซม์ดังกล่าวจะเกิดขึ้นตามหลังการทำงานของเอทิลีน เมื่อใดที่เอทิลีนถูกยับยั้งจะทำให้การสูญเสียความแน่นเปลือกลดลง แอกติวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 ชนิดต่ำลงด้วย ซึ่งสอดคล้องกับที่ได้มีผู้เคยรายงานไว้ในหลายปีที่แล้ว การกระตุ้นด้วยเอทิลีนจากภายนอกจะทำให้ผลไม้สุกเร็วขึ้น เช่น อโวคาโด (43) กล้วยไข่ (24) เป็นต้น อย่างไรก็ตามเมื่อศึกษาถึงแอกติวิตีของเอนไซม์เพคตินเมทิลเอสเตอเรสในระหว่างการบ่มจะพบว่า ในขณะที่การสังเคราะห์เอทิลีนและการสูญเสียความแน่นเปลือกถูกยับยั้ง แอกติวิตีของเอนไซม์เพคตินเมทิลเอสเตอเรสยังคงเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาของการบ่มและการใช้ AVG จะมีผลทำให้แอกติวิตีของเอนไซม์ชนิดนี้เพิ่มสูงขึ้นกว่าการไม่ใช้ AVG แสดงให้เห็นว่า แอกติวิตีของเอนไซม์เพคตินเมทิลเอสเตอเรสไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณการผลิตเอทิลีนและการสูญเสียความแน่นเปลือกเช่นเดียวรายงานของ Smith และคณะ (15) ซึ่งพบว่า

การทำงานของ เอนไซม์เพคตินเมทิลเอสเตอเรสมีผลน้อยต่อการสูญเสียความแน่นของเนื้อและเปลือกกล้วย

## สรุป

เอทิลีนจากภายนอกจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของกล้วยหอมทองในระหว่างการสุกอย่างมากทั้งทางด้านกายภาพ สรีรวิทยาและชีวเคมี โดยที่เอทิลีนเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเร็วขึ้น เช่นการเปลี่ยนสี ความแน่นเปลือก ปริมาณน้ำตาล แอคติวิตีของเอนไซม์ เซลลูเลส แอลฟาอะมีเลส และเพคตินเมทิลเอสเตอเรส จากการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของการผลิตเอทิลีน การเปลี่ยนสี การสูญเสียความแน่นเปลือก และแอคติวิตีของเอนไซม์เพคตินเมทิลเอสเตอเรส ทำให้เข้าใจว่าการผลิตเอทิลีนของผลกล้วยหอมทองเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายหลังการบ่ม โดยเฉพาะการเปลี่ยนสีและการสูญเสียความแน่นเปลือก กล่าวคือ เมื่อผลกล้วยมีการผลิตเอทิลีนสูงขึ้นจะเกิดการเปลี่ยนสีอย่างรวดเร็วและความแน่นเปลือกก็จะลดลงอย่างรวดเร็วด้วยเช่นกัน โดยเฉพาะหลังจากทำการบ่มได้ 3 วัน และเมื่อทำการศึกษาถึง แอคติวิตีของเอนไซม์บางชนิด คือ เซลลูเลส, แอลฟาอะมีเลส และเพคตินเมทิลเอสเตอเรส จากเนื้อเยื่อภายในและเปลือกที่อยู่ติดกับก้านผล ทำให้ทราบว่าในระยะแรกของการบ่มการผลิตเอทิลีนของเนื้อเยื่อบริเวณดังกล่าวต่ำมาก หลังจากนั้นจะเริ่มสูงขึ้นจนกระทั่งถึงวันที่ 7 ของการบ่ม ขณะที่ในวันแรกของการบ่ม ความแน่นเปลือกจะมีค่าสูงมากที่สุด หลังจากนั้นจะลดต่ำลงอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะในวันที่ 3 ของการบ่ม จากการวัดแอคติวิตีของเอนไซม์เซลลูเลสและแอลฟาอะมีเลส ตั้งแต่วันแรกของการบ่มจนกระทั่งถึงวันที่ 7 ของการบ่มพบว่าในขณะกล้วยดิบแอคติวิตีของเอนไซม์ทั้ง 2 ชนิดจะอยู่ในระดับต่ำหลังจากนั้นแอคติวิตีจะเพิ่มสูงขึ้นจนกระทั่งกล้วยสุกและงอม สำหรับแอคติวิตีของเอนไซม์เพคตินเมทิลเอสเตอเรส นั้นพบว่าในระหว่างที่กล้วยดิบเปลี่ยนไปเป็นกล้วยสุกนั้น มีการเพิ่มขึ้นในอัตราที่ต่ำมาก ดังนั้นการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้จึงทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นและแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างการผลิตเอทิลีน การสูญเสียความแน่นเปลือก กับแอคติวิตีของเอนไซม์เซลลูเลส และแอลฟาอะมีเลส กล่าวคือ เมื่อผลกล้วยมีการผลิตเอทิลีนเพิ่มมากขึ้น เอนไซม์เซลลูเลสและแอลฟาอะมีเลส ซึ่งเป็นเอนไซม์ย่อยสลายผนังเซลล์และแป้งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ขณะที่ค่าความแน่นเปลือกจะลดลงตลอดระยะเวลาของการสุก สำหรับแอคติวิตีของ

เอนไซม์เพคตินเอสเตอเรสนั้นมีการเพิ่มขึ้นในระหว่างการบ่มด้วยอัตราที่ต่ำมาก ดังนั้นการทำงานของเอนไซม์ชนิดนี้อาจไม่เกี่ยวข้องกับการอ่อนตัวของเปลือกกล้วยหอมทอง และการผลิตเอทิลีนก็เป็นได้ ซึ่งตรงกับรายงานของ Smith และคณะ (15)

ในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้พบว่าสารที่มีผลในการยับยั้งการผลิตเอทิลีนของก้านและเปลือกบริเวณที่ติดอยู่กับก้านผลได้แก่  $\text{CaCl}_2$ , AVG, ฟาราฟินเหลวและ Sta Fresh 7055 ผลจากการยับยั้งการผลิตเอทิลีนในบริเวณดังกล่าวได้จึงทำให้สามารถรักษาความแน่นของเปลือกบริเวณที่ติดกับก้านผลในระหว่างการสุกไว้ได้นานขึ้นดังนั้นสารต่าง ๆ เหล่านี้จึงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการป้องกันการหลุดจากก้านของผลกล้วยหอมทองในระหว่างการสุกได้ ยกเว้น  $\text{CaCl}_2$  ถึงแม้ว่าจะยับยั้งการสุกเสียความแน่นเปลือกได้แต่จะทำให้เกิดจุดสีน้ำตาลกระจายอยู่ที่ผิวเปลือกจึงไม่เหมาะสมต่อการนำมาใช้ในทางการค้า



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย